

English and Dutch Summaries of the Doctoral Dissertation

Uncovering the problem-solving process to design effective
worked examples

Tamara van Gog

Promotores:

prof.dr. Jeroen J. G. van Merriënboer

prof.dr. Fred Paas

Promotiedatum:

28 April 2006

ISBN-10: 90-9020490-3

ISBN-13: 978-90-9020490-1

Opvragen volledig proefschrift: tamara.vangog@ou.nl

This research project was carried out at the

OpenUniversiteitNederland

in the context of the research school

ico

(Interuniversity Center for Educational Research)

and was funded by

NWO

The Netherlands Organisation for Scientific Research

Summary

Research contrasting learning from problem solving with learning from worked examples has shown that the latter is often more effective and efficient in the initial phases of skill acquisition. Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 1988; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) explains this in terms of a reduction of ineffective (extraneous) cognitive load: learners do not have to invest cognitive resources in searching for a solution, but can devote all available resources to studying the solution. In order to further increase the effectiveness of worked examples, learners should be stimulated to use the capacity that is freed-up through the reduction in ineffective load for processes that contribute to learning, that is, processes that impose an effective (germane) load. In this dissertation, it is studied whether including not only the solution steps, but also information on the solution *process* in worked examples would induce such a germane load. The first part of the dissertation focuses on process-tracing techniques as a means to uncover such problem-solving process information and expertise-related differences in performance. The second part centers on the effects of process-oriented worked examples on learning.

Part I: Uncovering the Problem-Solving Process

Chapter 2 discusses the connections between the theoretical frameworks of CLT and deliberate practice, and the resulting interesting directions for CLT-based research. CLT research has been very successful in identifying effective and efficient instructional formats for novice learners. With the identification of the expertise reversal effect (see Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003), however, it became clear that formats that are effective for enhancing novices' learning might not necessarily be so for advanced learners.

Expert performance research, and especially research on deliberate practice, provides insight into the requirements for developing excellence. Deliberate practice activities are defined as practice activities that are at an appropriate, challenging level of difficulty and enable successive refinement by allowing for repetition, giving room to make and correct errors, and providing informative feedback to the learner (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993; Ericsson & Lehmann, 1996). Hence, deliberate practice requires full concentration of the learner and is effortful to maintain for extended periods. This bears resemblance to the concept of germane cognitive load. Positive effects on learning by the germane activities the instructional design tries to engage students in, will only occur if the learners are actually motivated to invest cognitive effort in those activities. Hence, one of the interesting directions for CLT research would be to study the relationship between cognitive load, learning outcomes, and learner motivation as well as the other

requirements of deliberate practice tasks: feedback and the possibility to make and correct errors.

Another interesting aspect of expert performance and deliberate practice research for CLT-research is the kind of methods and techniques used. In order to be able to design effective instruction for learners beyond the novice phase, more detailed information is required on how schemata actually develop (construction, elaboration, automation) with increasing expertise. This information is necessary in order to predict the cognitive load a certain instructional format might impose. This may require other measurement techniques than performance and mental effort scores on training and transfer tasks that are usually used in CLT-research to conclude on cognitive load and learning effects of instruction, because those measures have a rather large grain-size. The techniques used in expert performance research to study for example memory (development), and (micro-structure) cognitive processes at different levels of expertise, might be interesting in this regard.

Those techniques are referred to as process-tracing techniques (Cooke, 1994), and are studied in Chapters 3 and 4. The data reported in those chapters come from one within-subjects experiment with four conditions: concurrent reporting, retrospective reporting, cued retrospective reporting, and concurrent reporting with eye tracking. Participants worked on two computer-simulated electrical circuits troubleshooting tasks under each reporting condition (eight tasks in total).

Chapter 3 focuses on the differences in problem-solving process information ('action', 'why', i.e., use of domain principles, 'how', i.e., use of strategies/heuristics, and 'metacognitive') elicited with concurrent, retrospective and cued retrospective reporting. Results from previous research (e.g., Kuusela & Paul, 2000; Taylor & Dionne, 2000) suggested that concurrent reporting would lead to more information on actions being reported, whereas retrospective reporting would lead to more "references to strategies that control the problem solving process" and "information such as the conditions that elicited a particular response" (cf. our categories of 'why', 'how', and 'metacognitive' information; Taylor & Dionne, 2000, p. 414). Because all this information is relevant for instructional designers (e.g., for the development of process-oriented worked examples), a method is needed that is able to combine those results.

Cued retrospective reporting based on a record of eye movements and mouse/keyboard operations replayed superimposed on the original task, was hypothesized to be able to do this. Since the task was computer-based and had a large visual component (diagram inspection), the eye movements and mouse/keyboard

operations in the cue could trigger memory of thoughts related to cognitive and physical actions, respectively, while maintaining the retrospective nature of the report. Protocols were segmented based on utterances and coded.

Results showed that in line with our hypothesis, both concurrent and cued retrospective reporting resulted in a higher number of codes on 'action' information. Unexpectedly, however, retrospective reporting did not result in a higher number of codes on 'why', 'how', and 'metacognitive' information than concurrent reporting. Actually, the effect was reversed for 'why' and 'how' information. Given this unexpected finding, we analyzed whether cued retrospective reporting also resulted in more 'why', 'how', and 'metacognitive' information than retrospective reporting which was found to be the case for the last two categories. It is concluded that possible *qualitative* differences in the content captured by concurrent and cued retrospective reporting should be studied, but that cued retrospective reporting seems a promising method that should be further investigated and refined.

In the addendum to this chapter, it is explored whether expertise influences the way in which participants experience the methods. Expertise was computed by means of standardized performance, mental effort, and time on task scores on all experimental tasks, using a formula originally proposed to study the efficiency of instructional conditions (Paas & Van Merriënboer, 1993; Tuovinen & Paas, 2004). Performance efficiency can be seen as an indicator of expertise, since an individual with high expertise will be able to attain a higher performance score combined with lower investment of time-on-task and mental effort than a person with less expertise.

Open-ended questions were asked after the experiment. Participants' answers were recorded and analyzed qualitatively on indicating positive/negative experience, preference for a method, and factors that mediate experience/preference. The answers of the five participants with the highest expertise and the five participants with the lowest expertise were compared. Lower expertise participants seemed to find concurrent reporting a negative experience and to prefer cued retrospective reporting. Across both groups, time-on-task and the cue were mentioned as mediating factors for preference of method.

In Chapter 4, the analysis of data from the five highest and five lowest expertise participants (see above) from one of the tasks in the concurrent reporting with eye tracking condition is reported. Those data were analyzed to explore the value of eye movement data to uncover relatively small expertise-related differences in electrical circuits troubleshooting performance, in relation to concurrent verbal protocols. The

first three phases of the problem-solving process are considered: “problem orientation”, “problem formulation and action decision”, and “action evaluation and next action decision”. Higher expertise participants spent relatively more time on the first and third phases. In the first phase, higher expertise participants had a shorter mean fixation duration (indicator of processing demands), fixated proportionally more on a major fault related component, and showed a trend towards a higher number of gaze switches between two fault related components. Within-subjects analyses showed that only the mean fixation duration of the higher expertise participants differed significantly, being lower during the first phase, orientation, and the first half of the third phase, “evaluation”. The concurrent verbal protocol data were qualitatively analyzed and related to the eye movement data.

Concurrent protocols seemed to provide more information on the general content of cognitive processes (what a person is actually thinking), however, eye movement data seemed to provide very specific content information that is not necessarily captured in a verbal protocol, such as differential allocation of attention to components. Furthermore, the processing demands reflected in eye movement data provide interesting and detailed information both within and between subjects that is hard to infer from concurrent protocols. It is therefore concluded that combining those two data sources has an added value for expertise researchers and instructional designers interested in detailed insight into cognitive processes during problem solving.

Part II: Process-Oriented Worked Examples

This part starts with a theoretical chapter (Chapter 5) on the assumed effects of process-oriented worked examples. It is argued in this chapter that the worked examples used in previous research can be called product-oriented, because they only provide solution steps and not the rationale behind those steps. Strategic knowledge, such as heuristics and systematic approaches to problem solving, and domain principled knowledge used to select the steps are not made explicit in those examples. However, understanding the rationale behind those steps is considered a crucial factor for transfer, especially for far transfer. In contrast to near transfer tasks, which have structural features comparable to those of the training tasks but different surface features, far transfer tasks have different structural features, and therefore do not allow learners to merely apply a memorized procedure. Flexibly using those parts of a learned procedure that are relevant for a new (far transfer) problem requires that the learner understands the rationale behind (subgroups of) solution steps (cf. Catrambone, 1996, 1998); that is, that a learner “not

only knows the procedural steps for problem-solving tasks, but also understands when to deploy them and why they work” (Gott, Parker Hall, Pokorny, Dibble, & Glaser, 1993, p. 260).

It is therefore assumed that the use of process-oriented worked examples that do make this knowledge explicit would induce a germane, or effective cognitive load. Cognitive capacity that is freed-up through the reduction of extraneous load can be used to study the additional process information, which is expected to increase understanding and hence transfer of learning (i.e., studying process information would induce higher cognitive load, but also lead to better learning).

In the experiment described in Chapter 6, this assumption was tested in the domain of electrical circuits troubleshooting, using a 2 x 2 factorial design with the factors ‘solution worked-out’ (no/yes) and ‘process information given’ (no/yes). The resulting training conditions were: 1) solving conventional problems, 2) solving conventional problems with process information available, 3) studying product-oriented worked examples, and 4) studying process-oriented worked examples. The training consisted of six parallel electrical circuits troubleshooting tasks, three circuits containing one fault and three circuits containing two faults. The test consisted of six conventional problems. Three were near transfer problems (different surface features but similar structural features; i.e., parallel circuits with the same types of faults as the training tasks contained), and three were far transfer problems (different structural features; i.e., a different type of fault or a different type of circuit than the training tasks contained). After each training task and after each test task participants indicated the amount of mental effort they invested on a 9-point rating scale.

In line with our expectation, it was found that studying worked examples required less investment of mental effort during training, but led to higher near and far transfer test performance than solving conventional problems. Furthermore, studying process information indeed led to higher investment of effort during the training; however, for the process-oriented worked examples group it did not increase transfer performance compared to the product-oriented worked examples group.

In Chapter 7, a possible explanation was investigated for the fact that the mental effort invested in studying process-oriented worked examples during training was higher, but performance and efficiency (a combination of test performance and mental effort invested in the test) were not. It was hypothesized that process-oriented worked examples may have been more efficient initially than product-oriented worked examples, but that the process information becomes redundant and starts to hamper learning, and

should therefore be removed at that point. So, a process-product worked examples sequence was assumed to be more efficient than a process only, product only or product-process sequence. Participants studied two series of four training worked examples (parallel circuits with one fault, cf. Chapter 6), each followed by a series of four transfer test problems (two near and two far transfer problems, cf. Chapter 6). The conditions were: product-product sequence, process-process sequence, product-process sequence, and process-product sequence. After each training task and after each test task participants indicated the amount of mental effort they invested on a 9-point rating scale.

In line with our hypothesis, having studied process-oriented worked examples resulted in higher efficiency on the first transfer test than having studied product-oriented worked examples. Also in line with our hypothesis, the process information became redundant: continuing to study process-oriented worked examples led to lower efficiency on the second test, than continuing with product-oriented worked examples. However, contrary to the first test, the efficiency of the process-product condition on the second test was not significantly higher than that of the product-product or product-process conditions. It can be concluded that when offering process information in worked examples, this should be done at the beginning of training and should be removed when it becomes redundant. Combined with previous work on fading worked-out solution steps when those become redundant (see Renkl & Atkinson, 2003), our results suggest that an optimal training sequence for novices would likely proceed from studying process-oriented worked examples, product-oriented worked examples, and completion problems with increasingly more blanks that they have to fill in, to solving conventional problems.

Samenvatting

Onderzoek naar leren van probleemoplossen versus leren van uitgewerkte voorbeelden heeft aangetoond dat dit laatste vaak effectiever en efficiënter is, in elk geval voor beginnende lerenden. Cognitive Load Theory (CLT; Sweller, 1988; Sweller, Van Merriënboer, & Paas, 1998) verklaart dit in termen van gereduceerde ineffektieve cognitieve belasting: lerenden hoeven geen cognitieve capaciteit te investeren in het zoeken naar een oplossing, maar kunnen al hun aandacht richten op het bestuderen van bruikbare oplossingsstappen. Om de effectiviteit van uitgewerkte voorbeelden nog verder te verhogen, kan men lerenden stimuleren de “ruimte” die is vrijgemaakt door het reduceren van ineffektieve belasting te investeren in processen die bijdragen aan het leren, d.w.z. een effectieve belasting opleggen. In dit proefschrift wordt onderzocht of het niet alleen tonen van de oplossing in uitgewerkte voorbeelden, maar daarnaast ook informatie geven over het oplosproces, zo'n bron van effectieve belasting kan zijn. Het eerste deel van het proefschrift gaat in op zogenaamde “process tracing” technieken, die gebruikt kunnen worden om informatie te vergaren over het probleemoplosproces en om verschillen in prestatie die voortvloeien uit expertiseverschillen te onderzoeken. Het tweede deel heeft betrekking op de effecten van procesgerichte uitgewerkte voorbeelden op het leren.

Deel I: Blootleggen van het Probleemoplosproces

Hoofdstuk 2 gaat in op de verbanden tussen de theoretische kaders van CLT en “deliberate practice” en de daaruit voortvloeiende veelbelovende richtingen voor verder onderzoek gebaseerd op CLT. CLT-onderzoek heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan het vinden van instructievormen die effectief en efficiënt zijn voor beginnende lerenden. Met de ontdekking van het “expertise reversal effect” (zie Kalyuga, Ayres, Chandler, & Sweller, 2003) werd echter duidelijk dat instructievormen die het leren van beginners stimuleren niet noodzakelijk ook effectief zijn voor gevorderde lerenden.

Onderzoek naar expertgedrag en vooral dat naar “deliberate practice” heeft belangrijke inzichten opgeleverd in de vereisten voor het ontwikkelen van “expert performance”. Activiteiten die vallen onder de noemer deliberate practice zijn op een uitdagend moeilijkheidsniveau, maken successievelijke verfijning van prestatie mogelijk middels herhaling, geven de lerende de ruimte om fouten te maken en te corrigeren en leveren informatieve feedback aan de lerende (Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer, 1993; Ericsson & Lehmann, 1996). Deze activiteiten vragen dan ook om volledige concentratie en het kost veel moeite om ze gedurende langere tijd vol houden. Dit is vergelijkbaar met het idee van effectieve cognitieve belasting. Positieve effecten op het leren door de activiteiten die gestimuleerd worden door de instructiemaatregelen treden alleen op als de lerenden ook daadwerkelijk moeite steken in deze activiteiten. Eén van de interessante

richtingen voor CLT onderzoek is dan ook het onderzoeken van de relatie tussen cognitieve belasting, leerresultaten en motivatie van lerenden, alsook de andere vereisten van deliberate practice: de rol van feedback en de mogelijkheid fouten te maken en te verbeteren.

Een ander interessant aspect van het onderzoek naar expert performance en deliberate practice betreft de gebruikte methoden en technieken. Voor het ontwerpen van effectieve instructie voor gevorderde lerenden dient meer gedetailleerd inzicht verkregen te worden in hoe cognitieve schemata zich feitelijk ontwikkelen (constructie, elaboratie, automatisatie) met toenemende expertise. Dit inzicht is nodig om de effecten op cognitieve belasting van bepaalde instructievormen te kunnen voorspellen. Waarschijnlijk vereist dit andere technieken dan het meten van prestatie en mentale inspanning op trainings- en testtaken, maten die gewoonlijk gebruikt worden in CLT onderzoek om conclusies te trekken over de effecten van instructievormen op cognitieve belasting en leeruitkomsten, omdat dit vrij grove maten zijn. De technieken die in expert performance-onderzoek gebruikt worden om bijvoorbeeld geheugen(ontwikkeling) en (de microstructuur van) cognitieve processen op verschillende niveaus van expertise te bestuderen, kunnen in dit opzicht van belang zijn.

Deze technieken worden ook wel “process tracing” technieken genoemd (Cooke, 1994) en vormen het onderwerp van Hoofdstuk 3 en 4. De gerapporteerde data in deze hoofdstukken komen uit één binnenproefpersonen experiment met vier condities: hardopdenken tijdens de taak, retrospectief rapporteren, cued-retrospectief rapporteren en hardopdenken tijdens de taak met oogbewegingregistratie. In elke conditie werkten proefpersonen aan het troubleshooten van twee elektrische schakelingen in een computersimulatieprogramma (acht taken in totaal).

Hoofdstuk 3 is gericht op de verschillen in probleemoplosprocesinformatie (‘handeling’, ‘waarom’, d.w.z. gebruik van domein principes, ‘hoe’, d.w.z. gebruik van strategieën en ‘metacognitief’) verkregen middels hardopdenken, retrospectief rapporteren en cued-retrospectief rapporteren. Resultaten van eerder onderzoek (b.v. Kuusela & Paul, 2000; Taylor & Dionne, 2000) suggereerden dat hardopdenken meer informatie over handelingen zou opleveren, terwijl retrospectief rapporteren meer “referenties naar strategieën die het probleemoplosproces bepalen” en “informatie over de omstandigheden die resulteerden in een bepaalde handeling” zou opleveren (vgl. onze categorieën ‘waarom’, ‘hoe’ en ‘metacognitief’; Taylor & Dionne, 2000, p. 414). Omdat voor instructie-ontwerpers al deze informatie relevant is (b.v. voor het ontwikkelen van

procesgerichte uitgewerkte voorbeelden) werd een methode gezocht die deze resultaten zou combineren.

Cued-retrospectief rapporteren op basis van een opname van oogbewegingen en muis-/toetsenbordhandelingen, die afgespeeld wordt over de oorspronkelijke taak, leek hiervoor geschikt. Aangezien de taken op de computer uitgevoerd werden en een grote visuele component bevatten (inspectie van de tekening van de schakeling), zou het terugzien van de oogbewegingen en muis-/toetsenbordhandelingen herinnering van gedachten over respectievelijk cognitieve en fysieke handelingen kunnen stimuleren, met behoud van de retrospectieve aard van rapportage. De verbale protocollen werden gesegmenteerd op basis van uitspraken (zinnen of tekstfragmenten gescheiden door een duidelijke pauze voor- en achteraf) en gecodeerd.

Overeenkomstig onze hypothese, lieten de analyses zien dat zowel hardopdenken als cued-retrospectief rapporteren meer informatie over 'handelingen' opleverden dan retrospectief rapporteren. Echter, onverwachts bleek dat retrospectief rapporteren niet meer 'waarom', 'hoe' en 'metacognitieve' informatie opleverde dan hardop denken; het was zelfs precies omgekeerd voor 'waarom' en 'hoe' informatie. Vanwege deze onverwachte bevinding, is bekeken of cued-retrospectief rapporteren dan ook meer 'waarom', 'hoe' en 'metacognitieve' informatie op zou leveren dan retrospectief rapporteren, wat inderdaad het geval bleek voor de laatste twee categorieën. De conclusie wordt getrokken dat onderzoek naar mogelijke kwalitatieve verschillen in inhoud van protocollen verkregen middels hardopdenken en cued-retrospectief rapporteren nodig is, maar dat de laatstgenoemde methode veelbelovend lijkt en zeker verder onderzocht en verfijnd moet worden.

In het Addendum bij dit hoofdstuk wordt exploratief onderzocht of expertise invloed heeft op de manier waarop proefpersonen de verschillende rapportagemethoden ervaren. Expertise werd bepaald op basis van gestandaardiseerde prestatie-, mentale inspanning- en tijdscores op alle experimentele taken, met behulp van een formule die oorspronkelijk ontwikkeld is om de efficiëntie van instructiecondities te meten (Paas & Van Merriënboer, 1993; Tuovinen & Paas, 2004). Prestatie-efficiëntie kan beschouwd worden als een indicator van expertise, omdat iemand met meer expertise een hogere prestatiescore zal behalen met minder mentale inspanning en in kortere tijd dan iemand met minder expertise.

Aan het eind van het experiment werden open vragen gesteld. De antwoorden werden opgenomen en kwalitatief geanalyseerd op uitspraken over positieve/negatieve ervaring, voorkeur voor een methode en factoren die een rol spelen bij ervaring of voorkeur. De

antwoorden van de vijf proefpersonen met de hoogste expertise en de vijf proefpersonen met de laagste expertise werden met elkaar vergeleken. Proefpersonen met lagere expertise leken hardopdenken een vervelende ervaring te vinden en hadden een voorkeur voor cued-retrospectief rapporteren. Door beide groepen werden de tijd die aan de taak besteed werd en de cue genoemd als belangrijke factoren in de ervaring van de methoden.

In Hoofdstuk 4 worden gegevens gerapporteerd van de vijf proefpersonen met de hoogste expertise en de vijf proefpersonen met de laagste expertise (zie boven), op één van de taken van de conditie hardopdenken met oogbewegingregistratie. Deze gegevens werden geanalyseerd om het nut van oogbewegingsdata te exploreren voor het bestuderen van redelijk kleine, expertisegerelateerde verschillen in troubleshooting prestatie, in relatie met verbale protocollen. De eerste drie fasen van het probleemoplosproces werden bekeken: ‘probleemoriëntatie’, ‘probleemstelling en handelingskeuze’ en ‘handelingsevaluatie en keuze van volgende handeling’. Proefpersonen met meer expertise spendeerden relatief meer tijd aan fasen I en 3. In de eerste fase was de gemiddelde fixatieduur (indicator van verwerkingsvereisten van cognitieve processen) van proefpersonen met meer expertise korter, fixeerden zij proportioneel meer op een component die gerelateerd was aan een grote fout en neigden zij meer hun blik heen en weer te laten gaan tussen twee andere foutgerelateerde componenten. Binnenproefpersonen analyses lieten alleen significante verschillen zien in de gemiddelde fixatieduur van de proefpersonen met meer expertise; die was lager in de oriëntatiefase en in de eerste helft van de derde fase, “evaluatie”. De hardopdenkprotocollen werden kwalitatief geanalyseerd en gerelateerd aan de oogbewegingsdata.

Hardopdenkprotocollen leken meer informatie te geven over de generieke inhoud van cognitieve processen; echter, oogbewegingsdata leken meer specifieke inhoudinformatie te geven die niet noodzakelijk af te leiden is uit een verbaal protocol, zoals het spreiden van de aandacht over verschillende componenten. Bovendien leveren oogbewegingsdata interessante en gedetailleerde informatie op over de verwerkingsvereisten van cognitieve processen, zowel wanneer vergelijkingen gemaakt worden tussen groepen als wanneer gekeken wordt naar variatie binnen groepen over verschillende fasen. Dergelijke informatie is niet of nauwelijks af te leiden uit verbale protocollen. De conclusie is dan ook dat de combinatie van deze twee methoden meerwaarde heeft voor expertise-onderzoekers en instructie-ontwerpers die belang hebben bij het verkrijgen van een gedetailleerd beeld van cognitieve processen tijdens probleemoplossen.

Deel II: Procesgerichte Uitgewerkte Voorbeelden

Dit deel begint met een theoretisch hoofdstuk over de hypothetische effecten van procesgerichte uitgewerkte voorbeelden (Hoofdstuk 5). Er wordt beargumenteerd dat de uitgewerkte voorbeelden die in eerder onderzoek gebruikt werden voornamelijk productgericht waren, omdat ze slechts de oplossingsstappen toonden en niet de redenering erachter. Strategische kennis, zoals heuristieken of een systematische probleemaanpak en kennis van domeinprincipes die gebruikt worden in het selecteren van de oplossingsstappen, worden niet expliciet gemaakt in deze voorbeelden. Begrip van de redenering achter oplossingsstappen wordt echter als een cruciale factor gezien voor het bereiken van transfer van geleerde vaardigheden, vooral voor verre transfer. In tegenstelling tot nabije transferproblemen, die dezelfde structurele kenmerken hebben als de leertaken maar andere oppervlaktekenmerken, hebben verre transferproblemen ook andere structurele kenmerken en kunnen daarom niet opgelost worden door het eenvoudigweg toepassen van de geleerde procedure. Om die delen van de procedure die wel relevant zijn voor het nieuwe (verre transfer) probleem flexibel te kunnen gebruiken, is het nodig dat de lerende de redenering achter (subgroepen van) stappen begrijpt (vgl. Catrambone, 1996, 1998). Zoals Gott, Parker-Hall, Pokorny, Dibble, and Glaser (1993, p. 260) stellen, moet een lerende “niet alleen de procedurele stappen voor het oplossen van een probleem kennen, maar ook begrijpen wanneer ze gebruikt kunnen worden en waarom ze werken”.

Om deze redenen kan aangenomen worden dat het gebruik van procesgerichte uitgewerkte voorbeelden, die deze kennis *wel* expliciteren, een effectieve cognitieve belasting oplegt. De cognitieve capaciteit die vrijkomt door het reduceren van ineffektieve belasting kan gebruikt worden om de toegevoegde procesinformatie te bestuderen, wat het begrip van de procedure en dus de transfer naar nieuwe probleemsituaties kan verhogen. Dat wil zeggen, het bestuderen van procesinformatie vraagt meer mentale inspanning, maar leidt ook tot beter leren.

Het experiment beschreven in Hoofdstuk 6 test deze aanname in het domein van troubleshooten van elektrische schakelingen, middels een 2 x 2 factorieel design met de factoren ‘oplossing uitgewerkt’ (nee/ja) en ‘procesinformatie gegeven’ (nee/ja). De trainingscondities waren dus: 1) oplossen van conventionele problemen, 2) oplossen van conventionele problemen met procesinformatie gegeven, 3) bestuderen van productgerichte uitgewerkte voorbeelden en 4) bestuderen van procesgerichte uitgewerkte voorbeelden. De training bestond uit zes troubleshootingtaken: drie parallelle schakelingen met één fout en drie parallelle schakelingen met twee fouten. De

test bestond uit zes conventionele problemen, drie nabije transferproblemen (dezelfde structurele kenmerken, d.w.z. parallelle schakelingen en geleerde fouten) en drie verre transferproblemen (verschillende structurele kenmerken, d.w.z. ander type schakeling of niet geleerde fout). Na elke trainingstaak en na elke testtaak gaven proefpersonen op een 9-puntsschaal aan hoeveel mentale inspanning het bestuderen of oplossen hen gekost had.

Zoals verwacht vroeg het bestuderen van uitgewerkte voorbeelden minder mentale inspanning tijdens de training, maar leidde dit wel tot een betere prestatie op de nabije- en verre-transferproblemen dan het oplossen van problemen. Bovendien leidde het bestuderen van procesinformatie inderdaad tot meer mentale inspanning tijdens de training, echter, dit leidde niet tot een betere prestatie op transferproblemen voor de conditie met procesgerichte uitgewerkte voorbeelden.

In Hoofdstuk 7 werd een mogelijke verklaring onderzocht voor het feit dat het bestuderen van procesgerichte voorbeelden wel hogere mentale inspanning vroeg tijdens de training, maar niet tot betere transfer prestatie en efficiëntie (combinatie van prestatie en mentale inspanning op de test) leidde. De hypothese was dat procesgerichte uitgewerkte voorbeelden in eerste instantie tot meer efficiëntie leiden dan productgerichte uitgewerkte voorbeelden, maar dat de procesinformatie op een bepaald moment redundant wordt en het leren gaat schaden en beter vermeden kan worden vanaf dat moment. Dus, aangenomen werd dat een sequentie van proces-/productgerichte uitgewerkte voorbeelden tot meer efficiëntie zou leiden dan een sequentie van proces-/procesgerichte, product-/productgerichte, of product-/procesgerichte uitgewerkte voorbeelden. Proefpersonen bestudeerden twee training series van vier uitgewerkte voorbeelden (parallel schakelingen met één fout, vgl. Hoofdstuk 6), elk gevolgd door een test serie van vier transfer problemen (twee nabije en twee verre transfer problemen, vgl. Hoofdstuk 6). De condities waren: product-product sequentie, proces-proces sequentie, product-proces sequentie en proces-product sequentie. Na elke trainingstaak en na elke testtaak gaven proefpersonen op een 9-puntsschaal aan hoeveel mentale inspanning het bestuderen of oplossen hen gekost had.

Overeenkomstig onze hypothese, leidde het bestudeerd hebben van procesgerichte voorbeelden op de eerste test tot hogere efficiëntie dan het bestudeerd hebben van productgerichte voorbeelden. Ook werd de procesinformatie inderdaad redundant: doorgaan met het bestuderen van procesgerichte voorbeelden leidde tot lager efficiëntie op de tweede test dan wanneer vervolgd werd met productgerichte voorbeelden. Echter, in tegenstelling tot de eerste test, was de efficiëntie van de proces-product conditie op de

tweede test niet significant hoger dan de efficiëntie van de product-product of de product-proces condities. Er kan geconcludeerd worden dat wanneer procesinformatie aangeboden wordt in uitgewerkte voorbeelden, dit aan het begin van de training gedaan moet worden en dat deze informatie weggelaten moet worden wanneer ze redundant wordt. Gecombineerd met eerder werk op het gebied van het “faden” van uitgewerkte oplossingsstappen (Renkl & Atkinson, 2003), suggereren deze resultaten dat een optimale trainingsvolgorde voor novices verloopt van het bestuderen van procesgerichte voorbeelden, het bestuderen van productgerichte voorbeelden, via het completeren van steeds meer stappen in gedeeltelijk uitgewerkte voorbeelden, naar het zelf probleemoplossen.